

**B. Valeske**

# Validierung innovativer ZfP-Verfahren

für die Qualitätssicherung  
in der werkstoffverarbeitenden Industrie sowie für den  
sicheren Betrieb technischer Anlagen und Systeme



Expertenforum  
München, 13.04.2010



[bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de](mailto:bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de)



**Fraunhofer**  
IZFP

# Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Validierung u. Akkreditierung neuer ZfP-Technologien

Beispiel-Applikationen validierter ZfP-Systeme

Zusammenfassung / Ausblick

# Standorte der Fraunhofer-Gesellschaft in Deutschland

- 62 Insitute (2009)
- 52 Standorte
- 15.000 Mitarbeiter
- 1,3 Mrd. EUR



# Das Institut im Überblick

## Institutsteile

- Saarbrücken, Dresden

## Außenstellen

- Fürth, Grenoble, Dubna, Minsk

## Personal

- insgesamt **306 Mitarbeiter**
  - 149 Mitarbeiter Stammpersonal (3/4 des Stammpersonals sind Wissenschaftler, Ingenieure oder Techniker)
  - 157 Mitarbeiter sonstiges Personal inklusive Gastwissenschaftlern, Doktoranden/Diplomanden und studentischen Hilfskräften

## 23 Mio Euro Betriebshaushalt

- 16 Mio € Projektumsatz
- davon 13 Mio € Industrieanteil



Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren

**Validierung u. Akkreditierung neuer ZfP-Technologien**

Beispiel-Applikationen validierter ZfP-Systeme

Zusammenfassung / Ausblick

# Anwendungsfelder der ZfP



# Validierung nach DIN EN ISO / IEC 17025:2005

Das Prüf- und Applikationszentrum des Fraunhofer IZFP ist nach EN ISO 17025 ein „**Flexibel akkreditiertes Prüflabor**“ (Prüfbereichsakkreditierung)!



## Akkreditierung:

Kompetenzbescheinigung des Labors für qualifizierte Anwendung ZfP

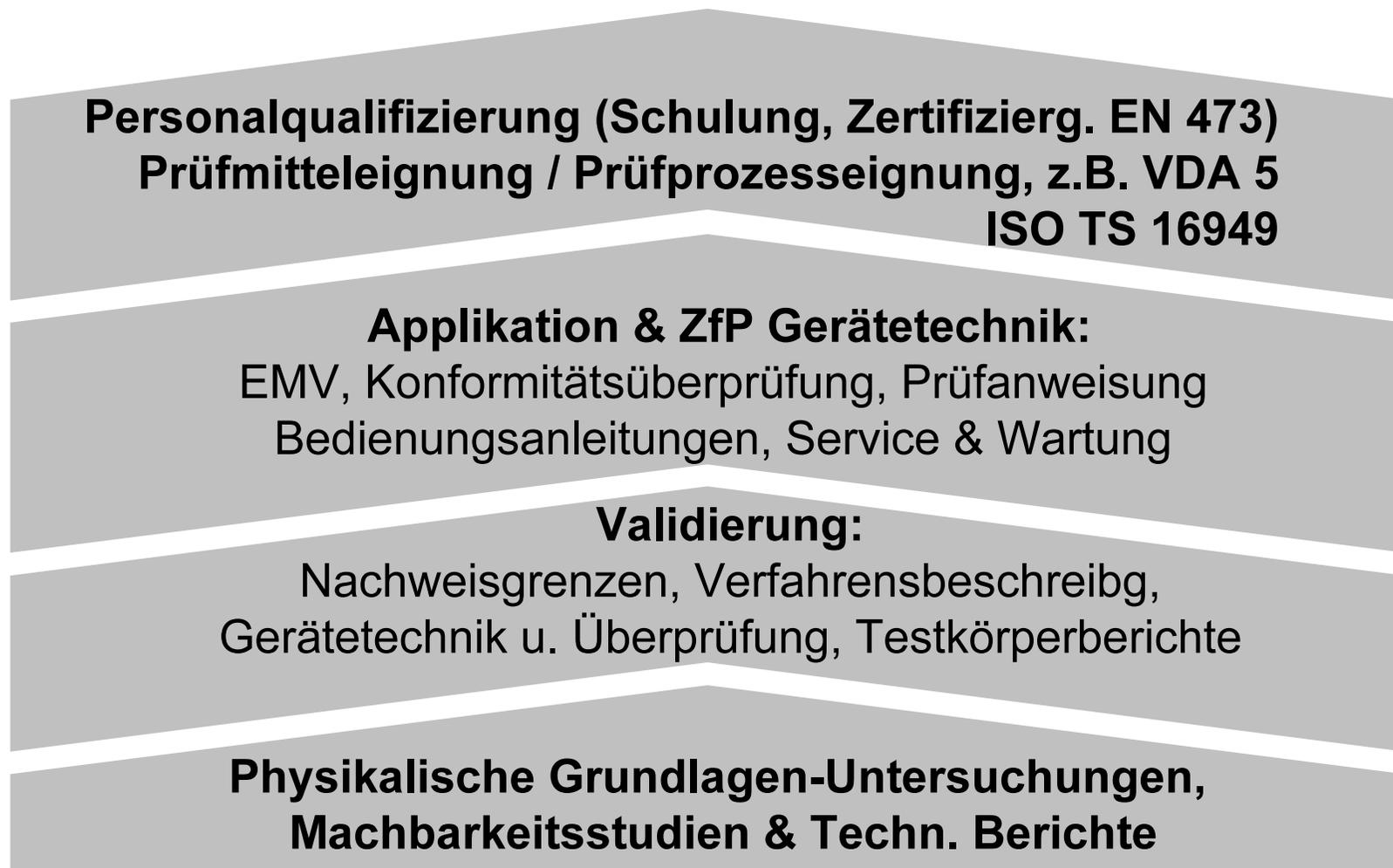
**Validierung: Bestätigung** durch Untersuchung ... Nachweise, ...dass die besonderen Anforderungen **für einen speziellen beabsichtigten Gebrauch** erfüllt... .

für

- nicht genormte Verfahren (**z.B. Phased Array US, Aktive Thermografie**)
- selbst entwickelte Verfahren (**z.B. 3MA des IZFP**)
- Normverfahren außerhalb vorgesehenem Anwendungsbereich

➤ **Bestätigung der Verfahrenseignung für speziellen Gebrauch**

# Der Qualifizierungsprozess gemäß der flexiblen Laborakkreditierung



## Spezifikation des ZfP-Anwendungsbereichs

**Flexible Akkreditierung**  
**DIN EN ISO / IEC 17025:2005**



DEUTSCHES  
AKKREDITIERUNGSSYSTEM  
PRÜFWESEN GMBH  
DAP-PL-3482.00



Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren

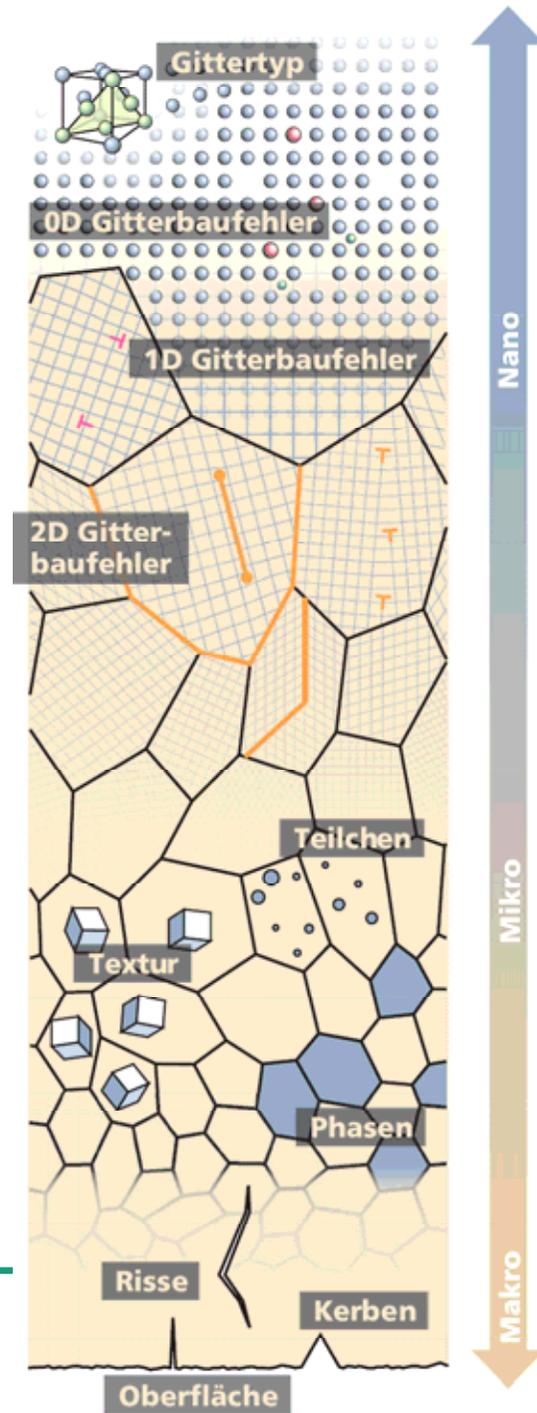
Validierung u. Akkreditierung neuer ZfP-Technologien

## **Beispiel-Applikationen validierter ZfP-Systeme**

Zusammenfassung / Ausblick

## Beispiel 1

# Bestimmung von Werkstoffeigenschaften mit 3MA (Mikromagnet. Multiparameter Prüfung)



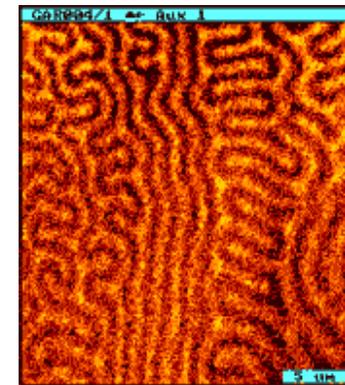
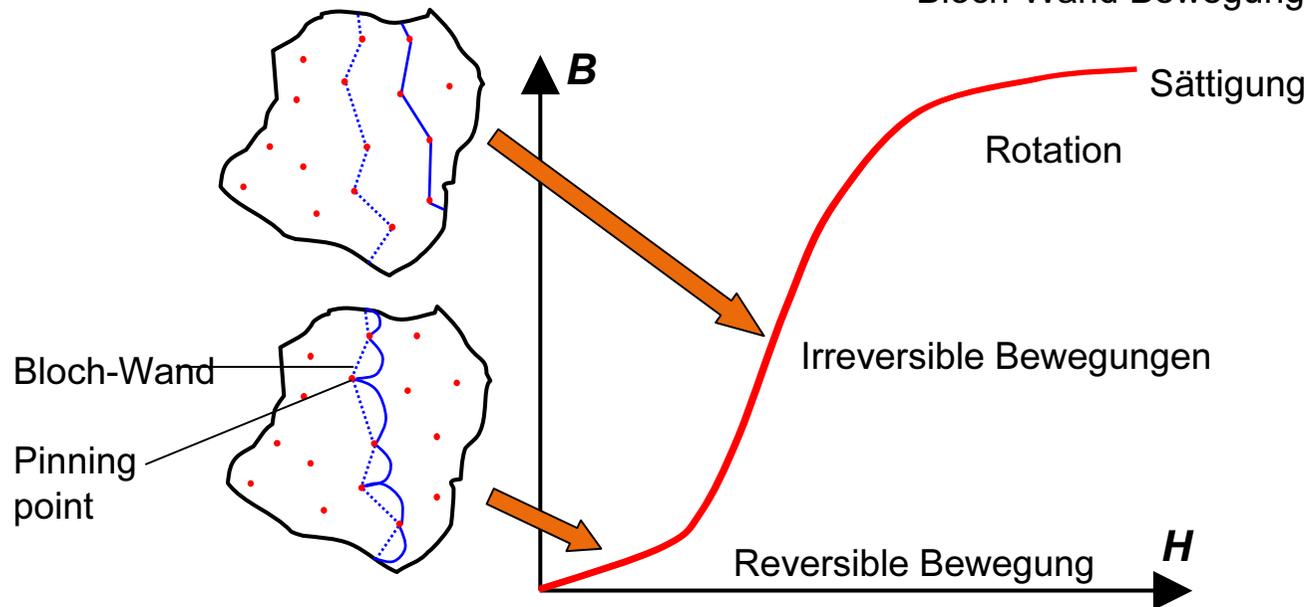
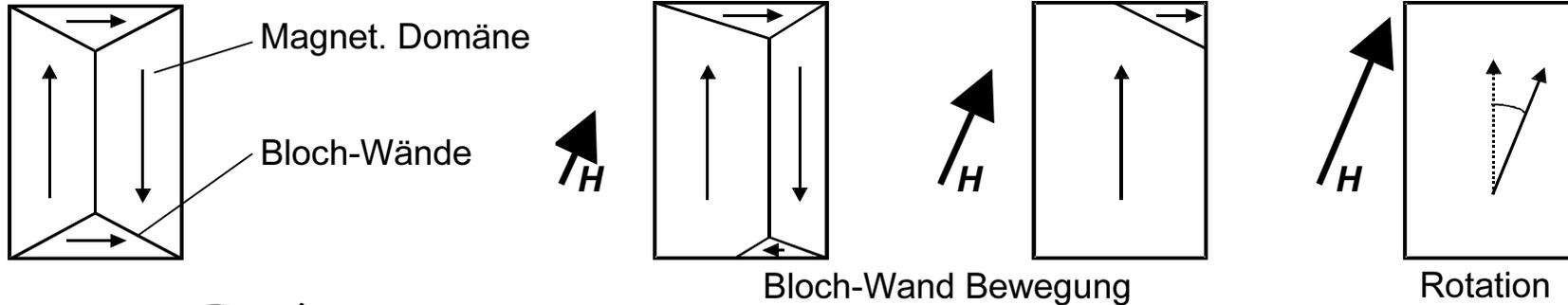
Zerstörungsfreie  
Werkstoffprüfung

Korrelation von  
Mikrostruktur & Defekten  
↔  
Werkstoffeigenschaften  
auf verschiedenen Skalen

# Zerstörungsfreie Charakterisierung von ferromagn. Werkstoffen

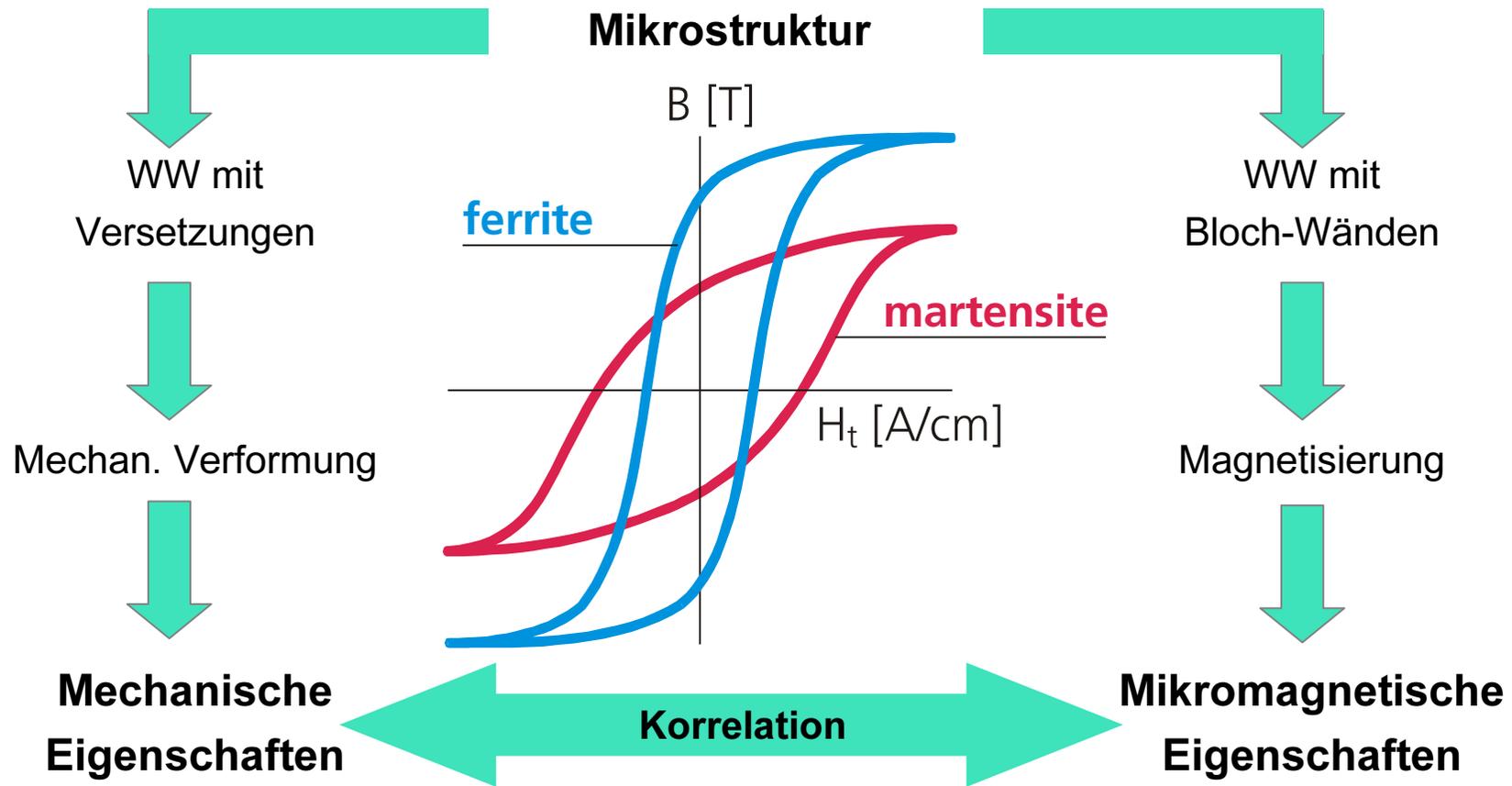
Ferromagn. Werkstoff

Äußeres Magnetfeld  $H$

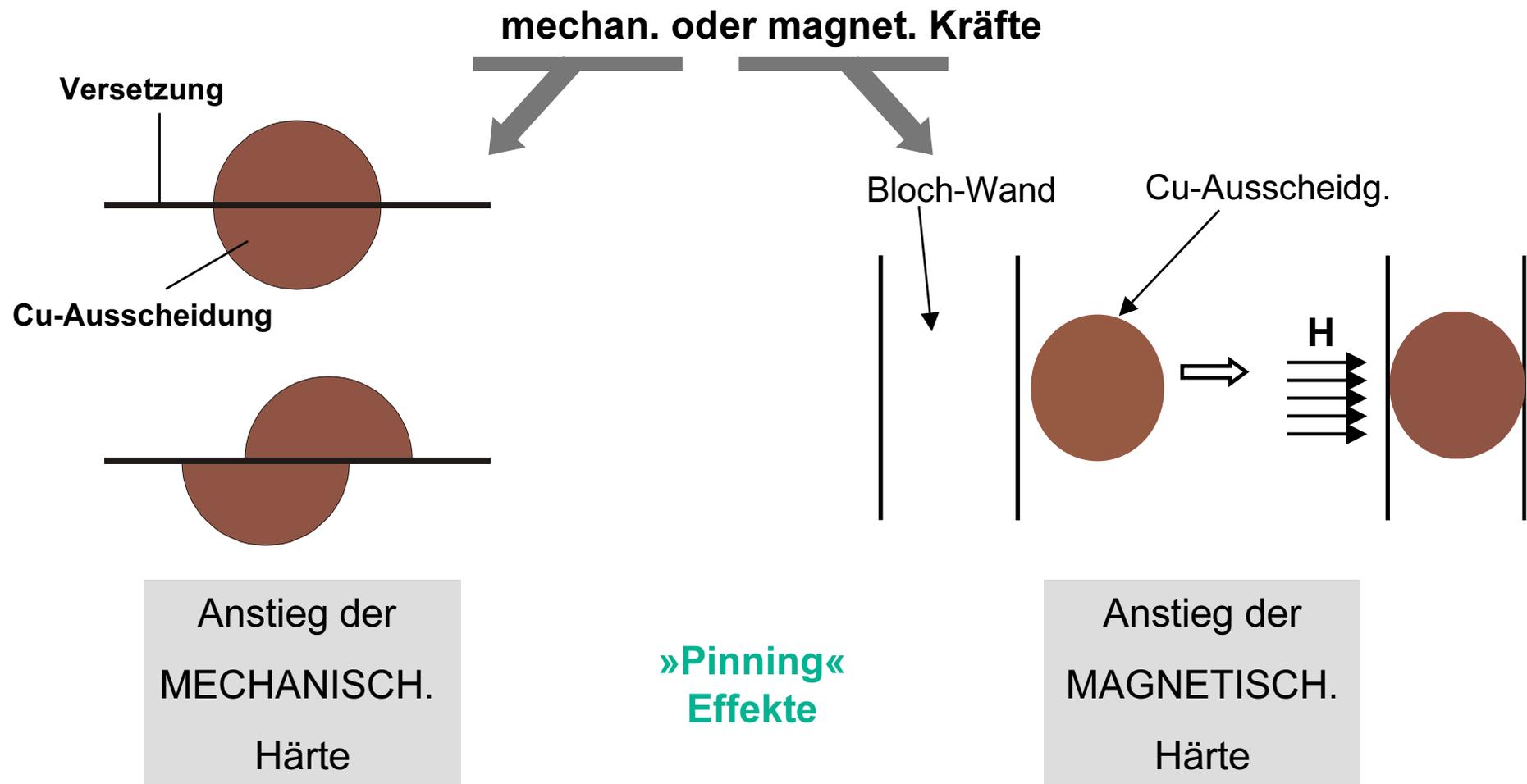


Magn. Domänen im Dünnsfilm (Yttrium-Iron-Garnet) unter dem Einfluss eines äußeren magnet. Wechselfeldes (MFM Bild)

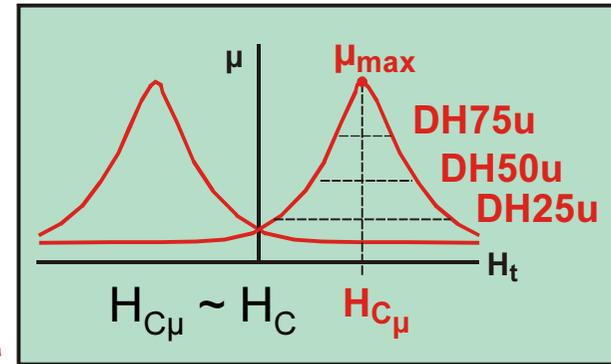
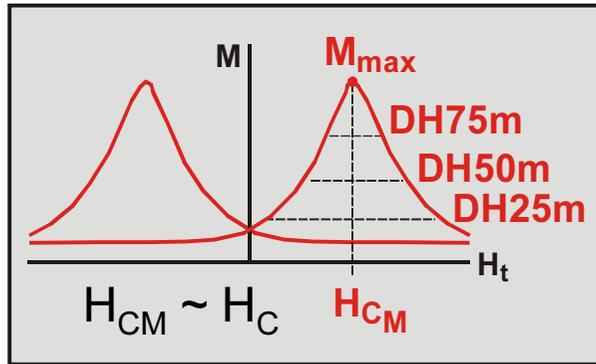
# ZfP: Korrelation von mechanischen mit magnetischen Eigenschaften



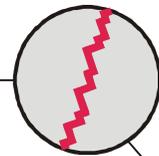
# Analogie zwischen Versetzungs- und Bloch-Wand Bewegung



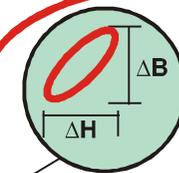
# Mikromagnetische Prüfverfahren (3MA)



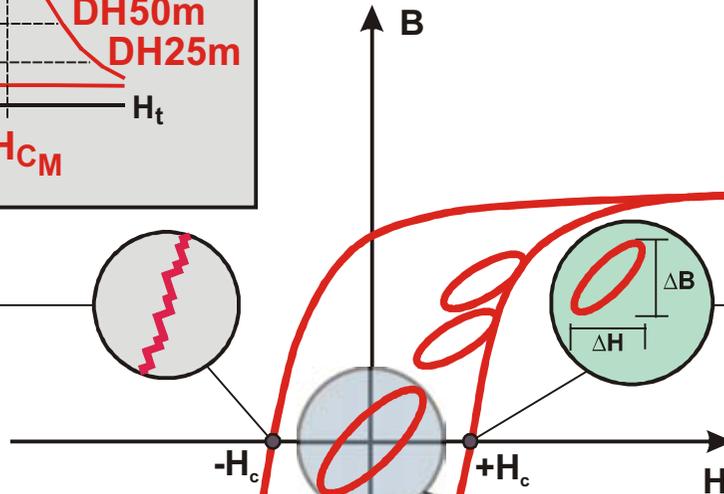
Barkhausen Rauschen



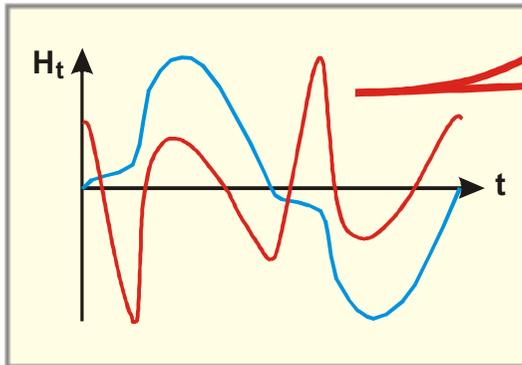
Überlagerungs-Permeabilität



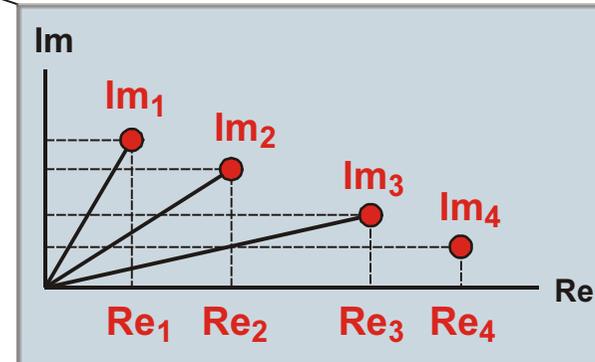
Analyse des tangentialen Magnet-Feldes



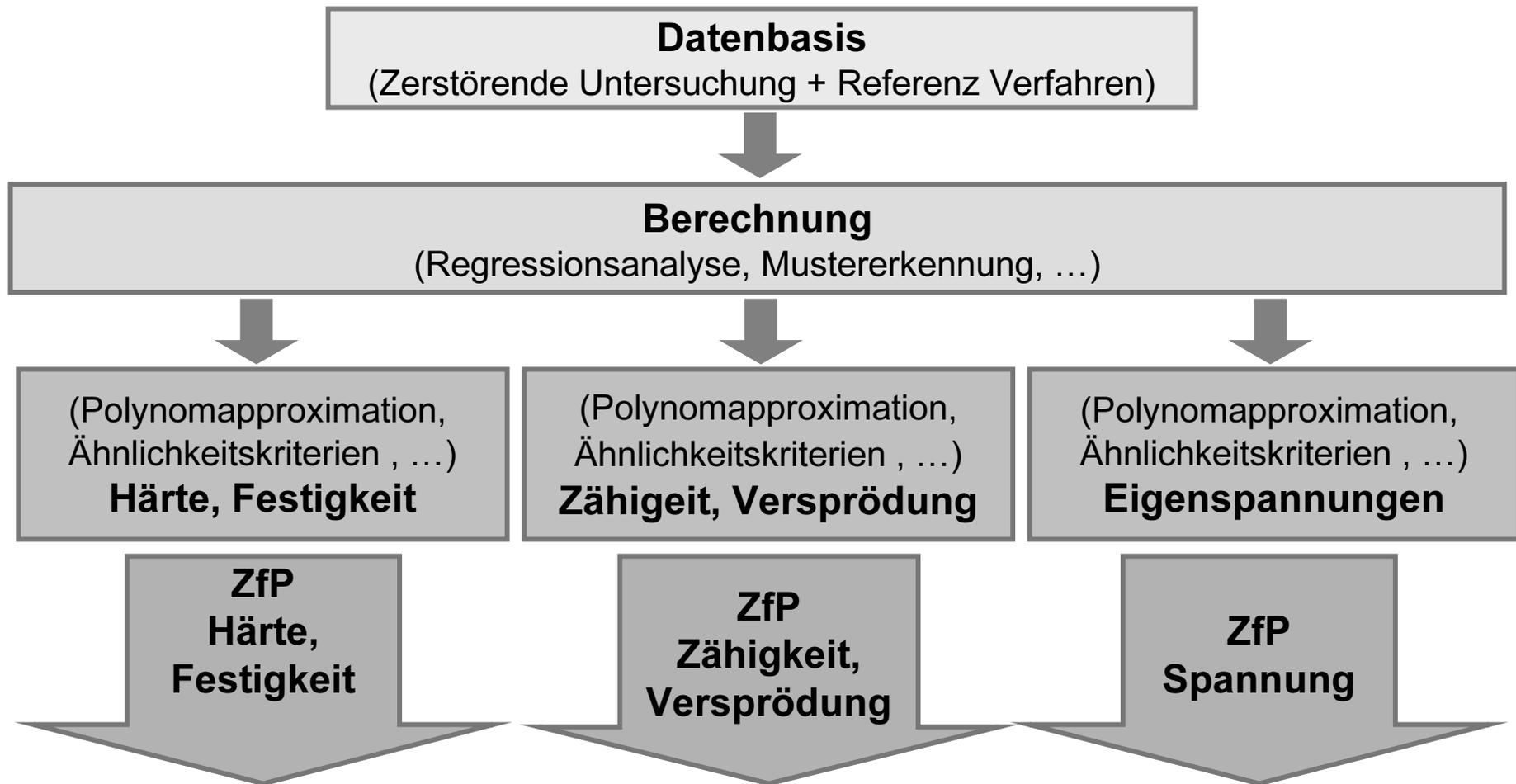
Mehrfrequenz-Wirbelstrom Impedanz-Analyse



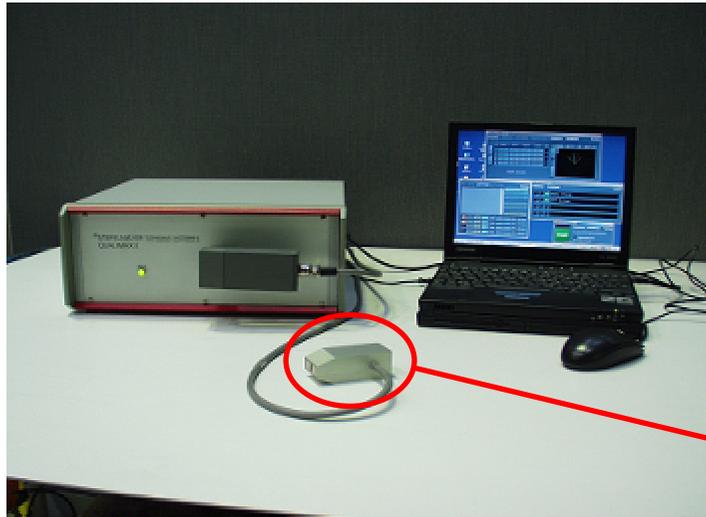
Höhere Harmonische ~ Hysterese (Nichtlinearität)



# 3MA Kalibrierung → Quantitative ZfP



# Mikromagnetisches Prüfsystem (3MA-Technik)



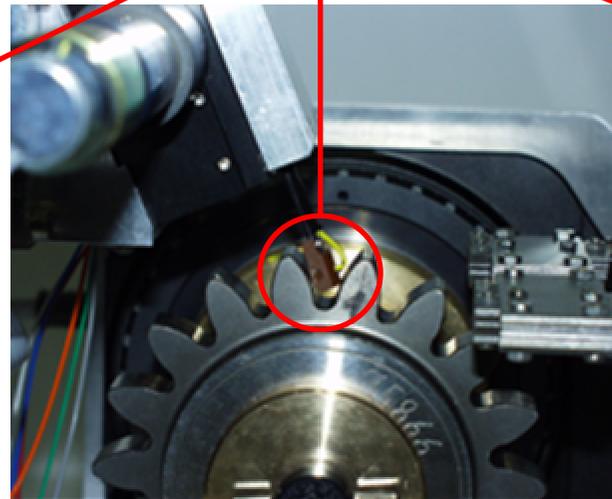
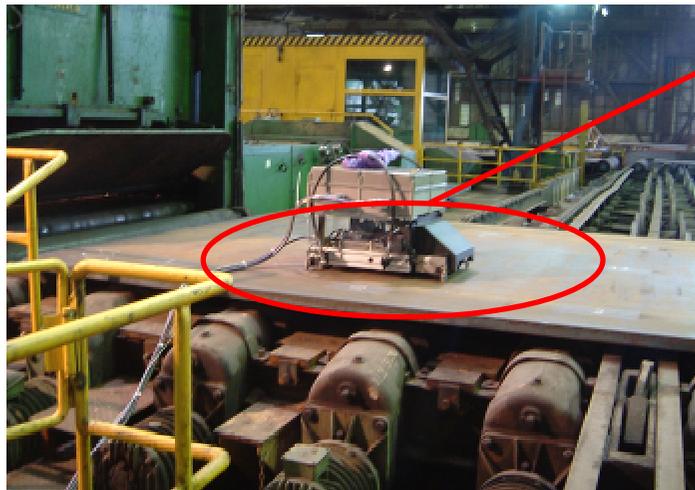
**Metallverarbeitung**

System  
mit integriertem PC

Frontend  
Design



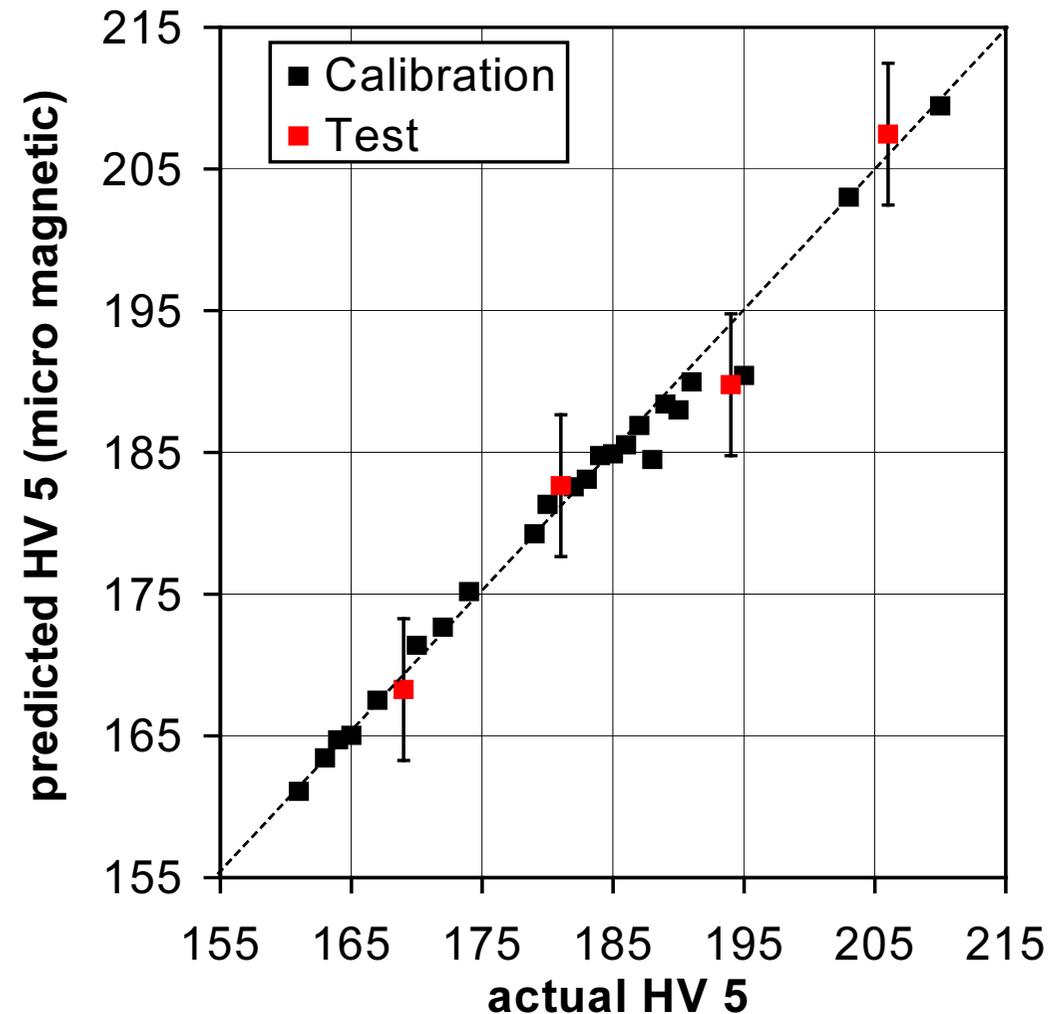
**Sensor / Prüfkopf**



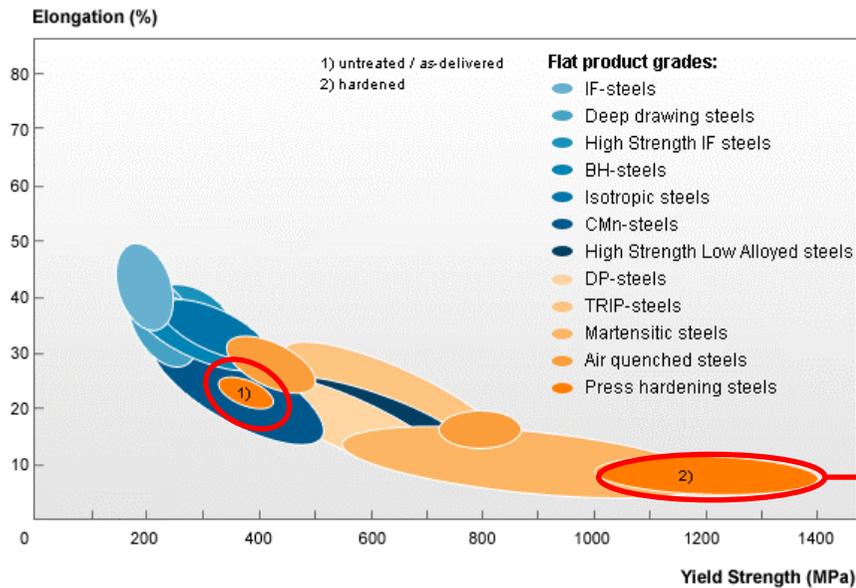
# Thermisch Induzierte Versprödung von WB 36 – Ergebnisse 3MA

**Mikromagnetische  
Multiparameter Analyse  
(Barkhausen Rauschen,  
Oberwellenanalyse und  
Wirbelstrom)**

Bestimmung  
der Vickers Härte für  
WB 36 Stahl, 0.65 wt.% Cu



# Hochfeste Karosserie-Stähle in der Automobil-Industrie



## Anforderungen an die Automobil-Industrie

...weniger Emissionen durch Leichtbau.  
...bestes Crash-Verhalten.



**Hoch- und Höchstfeste  
Karosserie-Stähle**

Formhärten mit Bor legierten Stählen

**Warmumformung und anschließendes  
Härten in einem Prozess-Schritte**





# Zerstörungsfreie Qualitätssicherung mit mikromagnetischen Verfahren



## ZfP Bestimmung von Kennwerten

- Streckgrenze  $R_{p0.2}$
- Zugfestigkeit  $R_m$
- Bruchdehnung  $A_{50}$
- Härte

- Extreme Reduzierung von Kosten und Prüfzeiten
- 100% Überwachung des Fertigungs-Prozesses

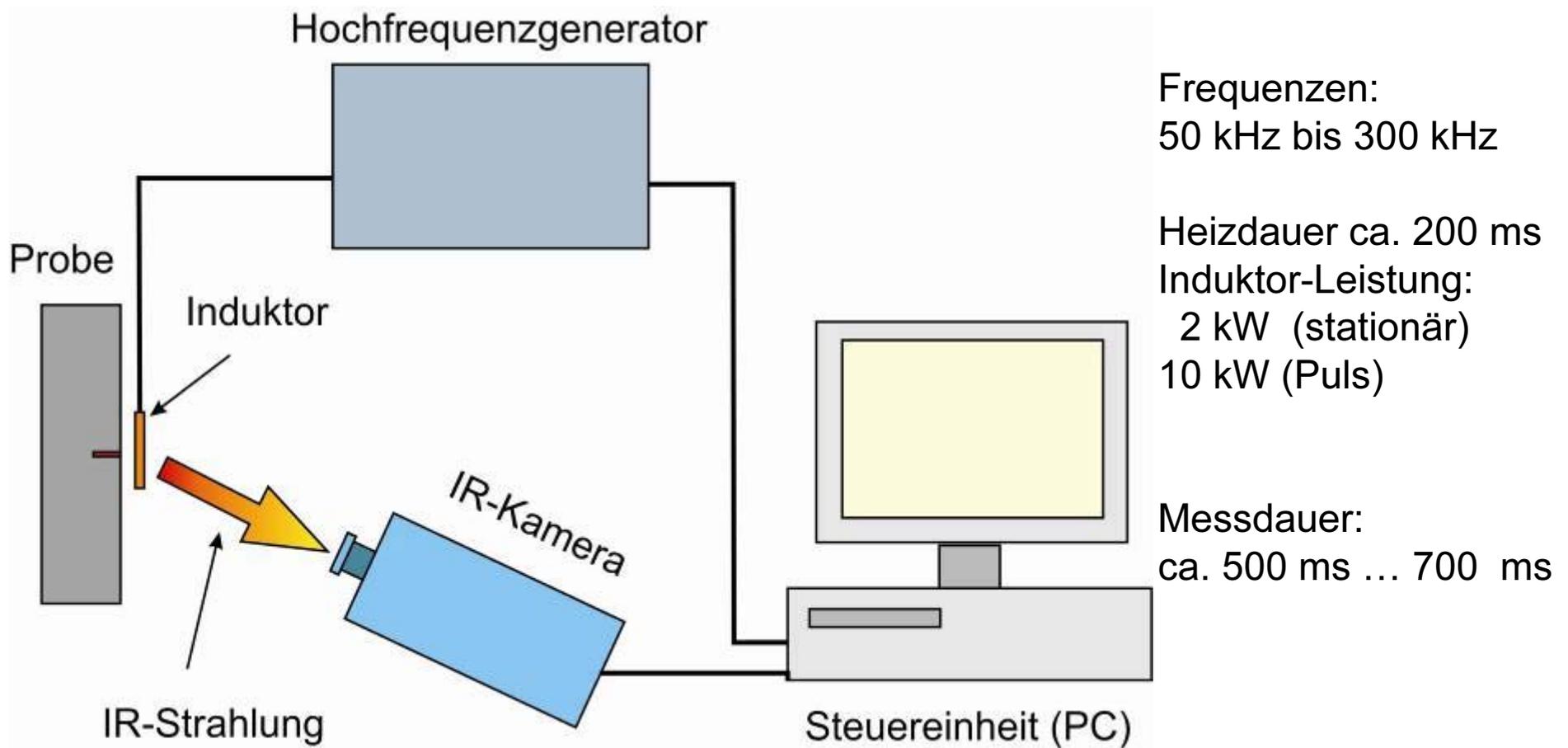


**3MA qualifiziert für großen deutschen OEM**

## Beispiel 2

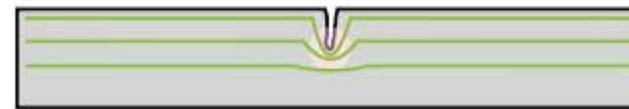
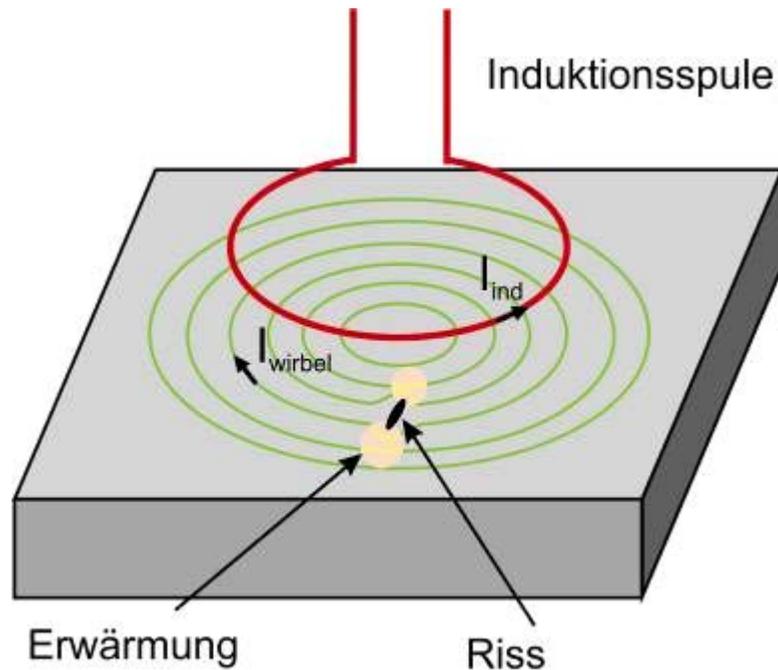
# Automatisierte Oberflächenrissprüfung mit aktiver Puls-Thermografie

# Induktiv angeregte Puls-Phasen-Thermografie für die Oberflächenrissprfg.



**Induktions-Thermografie akkreditiert für Oberflächenrissprüfung Metalle**

# Validierung als akkreditiertes Verfahren für die Oberflächenrissprüfung



Risstiefe < Skintiefe



Risstiefe > Skintiefe

Typische Skintiefen  
30  $\mu\text{m}$  ... 800  $\mu\text{m}$   
@ 260 kHz

## Diplomarbeiten, Eigenforschung, Öffentliche Projekte

- ferritische, austenitische Stähle
- AlMg3
- Cu

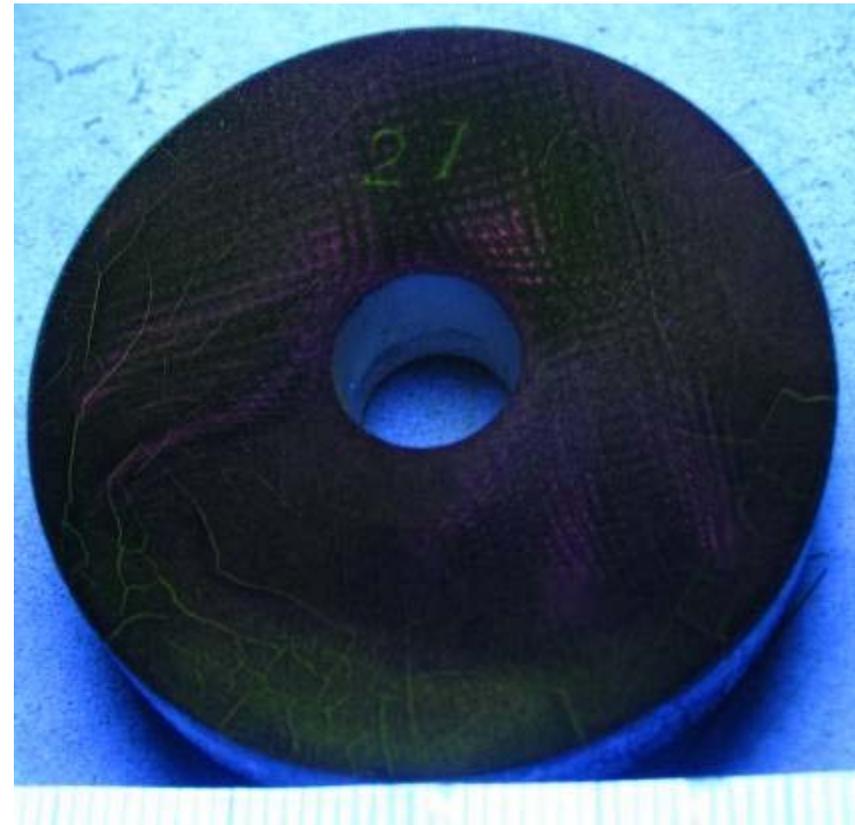
- Risstiefe, Risslänge
- Überdeckung (geschlossener Riss)
- Orientierung, Neigungswinkel
- Oberfläche (Rauhigkeit, Verschmutzung...)

# Validierung als akkreditiertes Verfahren für die Oberflächenrissprüfung

MP Normtestkörper Nr. 1  
(EN-ISO 9934-2: 2002, Überprüfung MT)



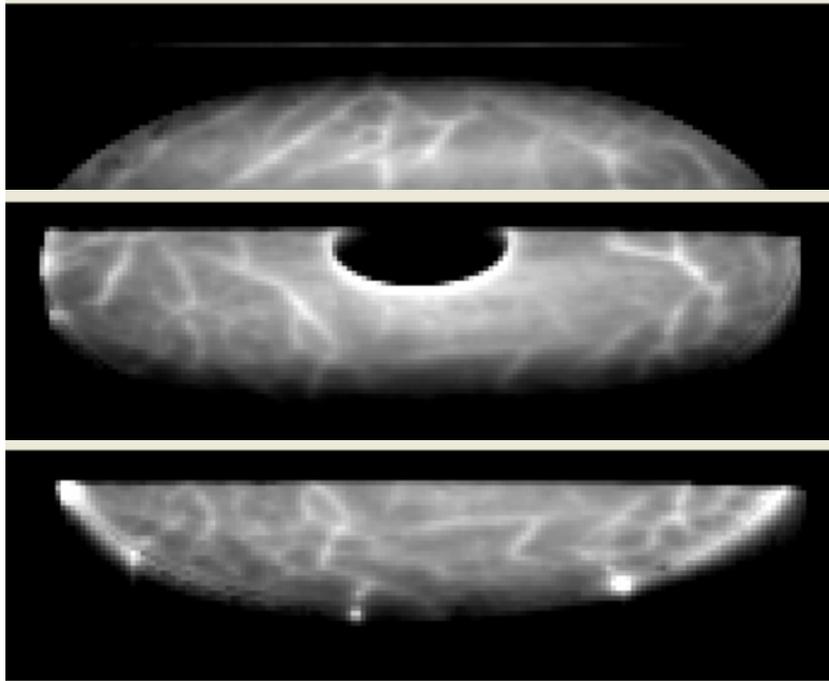
MT-Prüfung (Referenz)



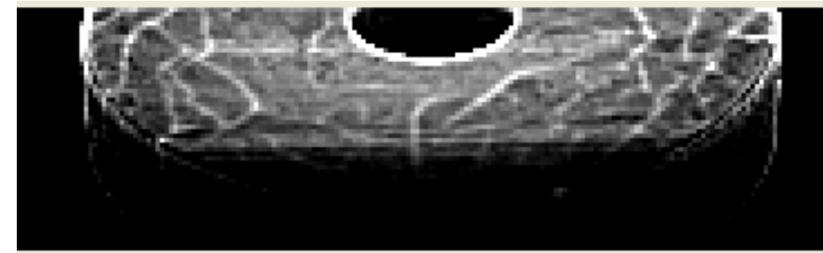
# Validierung als akkreditiertes Verfahren für die Oberflächenrissprüfung

## IT-Prüfung

(Ausschnitte MP Normkörper)

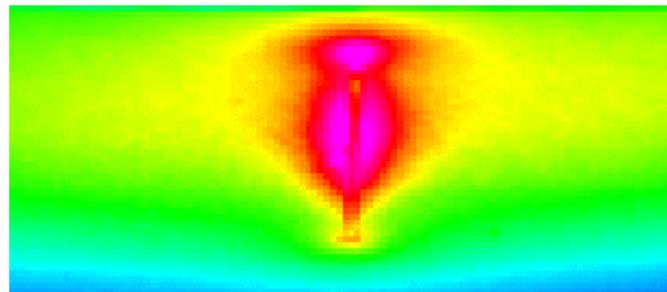
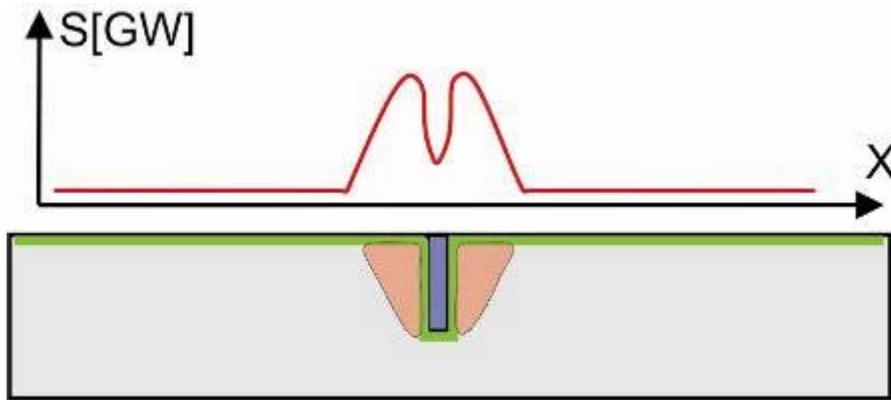


**Vollständige Bestätigung  
der MT-Ergebnisse**

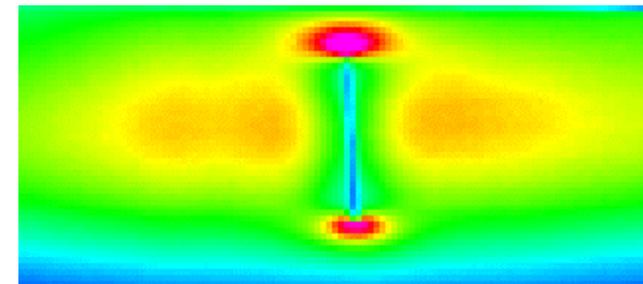
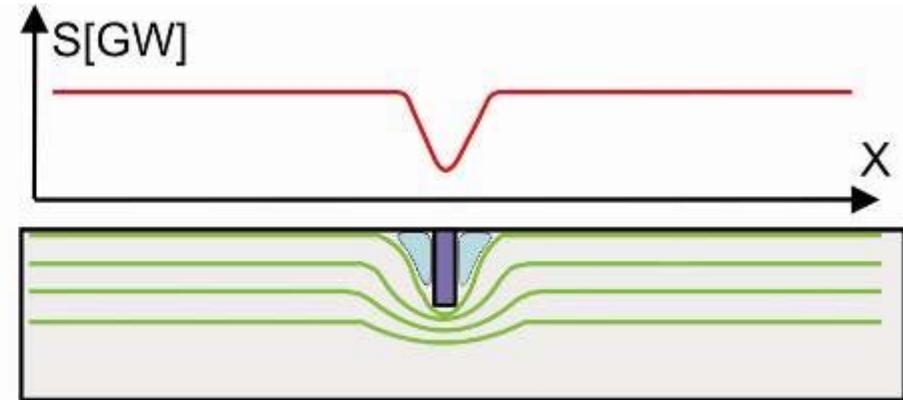


**mit Signal- und Bildverarbeitung**

# Induktiv angeregte Thermografie

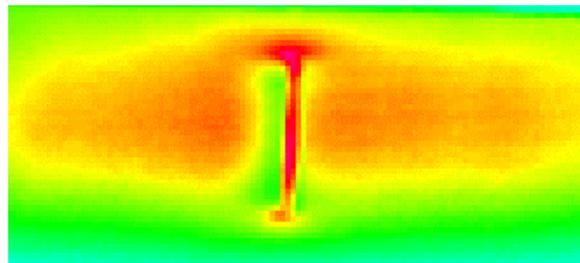
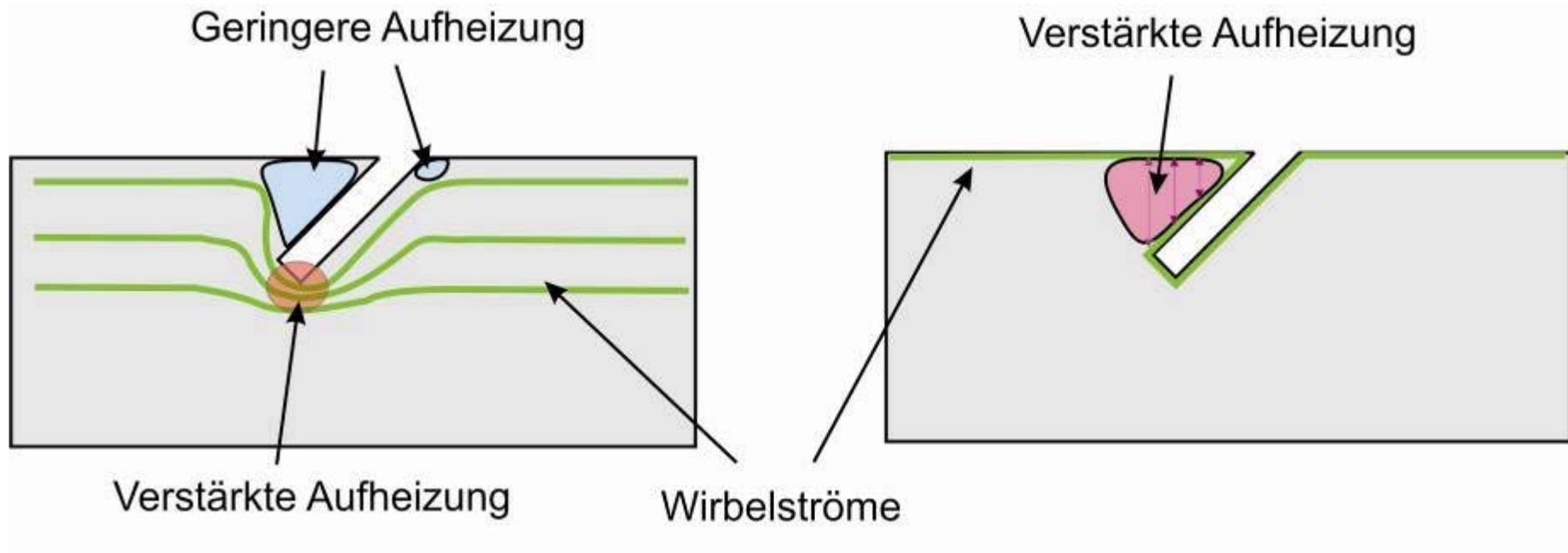


**Ferrit (z.B. S235)**

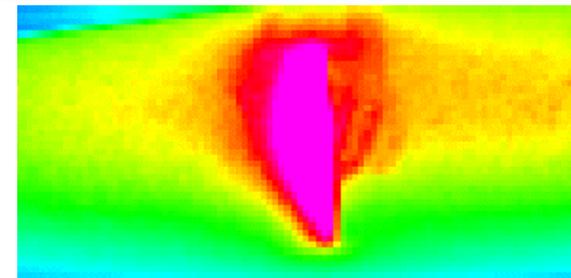


**Austenit (z.B. X5CrNi18-10)**

# Testfehler (Beispiele) für induktiv angeregte Thermografie

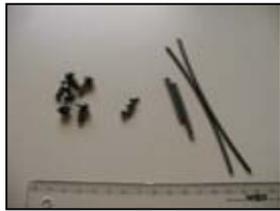


**Austenit (z.B. X5CrNi18-10)**



**Ferrit (z.B. S235)**

# Teileauswahl einer Studie an Schmiedeteilen



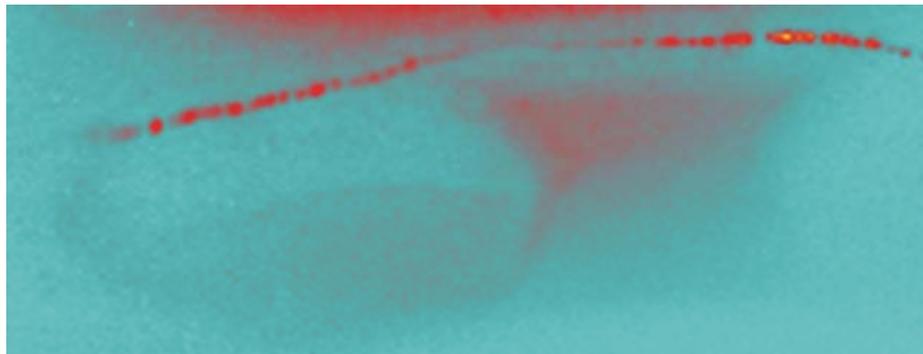
(German Cold Forging Group, Industrieverband  
Massivumformung, Hagen)

# Induktiv angeregte Thermografie für die Oberflächenrissprüfung



Risszeile in der Hohlkehle eines Stirnrades

Foto des Fehlerbereichs



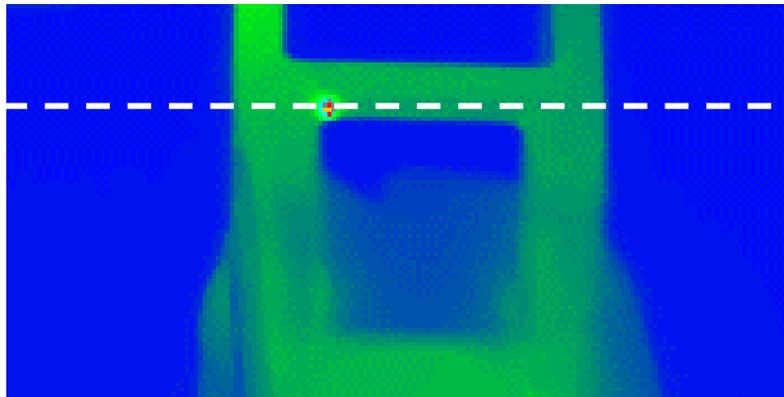
Thermografiebild

Bildausschnitt: ca. 70 mm x 35 mm

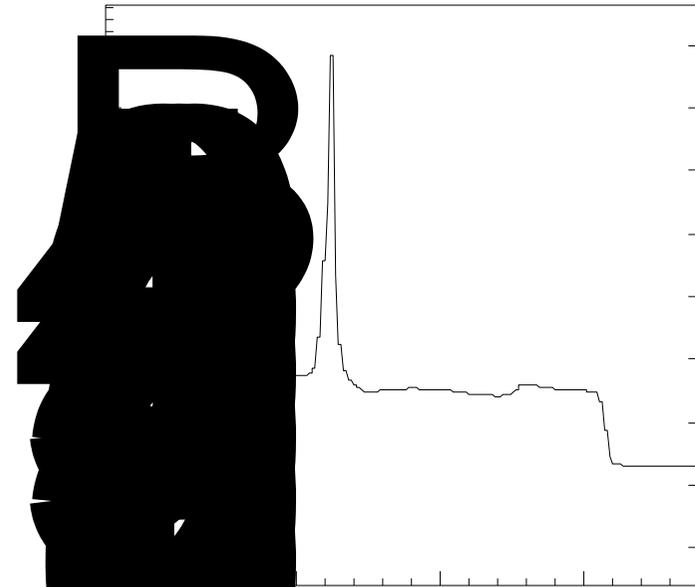
# Induktiv angeregte Thermografie für die Oberflächenrissprüfung



Kipphebel (Ferromagnetische Sintermetallbauteile),  
Serienprüfung (Taktzeit 5 s)



Automobil – Serienprodukt mit Riss;  
Bildausschnitt: ca. 4 cm x 2 cm



Signalverlauf (GW)

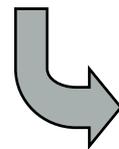
# Induktiv angeregte Thermografie für die Oberflächenrissprüfung



## Rohbild

Anregungsfrequenz 150 kHz  
Bildgröße etwa 55 mm x 40 mm

## Phasenbild bei 12 Hz



Puls Phasen Analyse

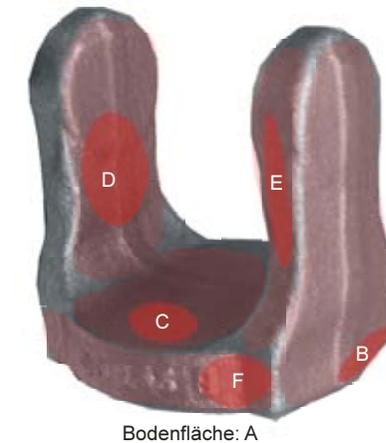


## Ergebnisse der Validierung - Störgrößen

Auswirkung aus Sicht der Prüftechnik	Auswirkung auf die Fehlermachbarkeit, falls Riss unter der Störung	Unterdrückung der Störung
Erhöhung der Emissivität, zusätzlicher Wärmewiderstand	gering, Nachweisempfindlichkeit kann sogar verbessert werden	Analyse des Zeitverlaufs des Temperaturkontrasts
Gering erhöhte effektive Emissivität	gering	nicht nötig
Veränderte (erhöhte) Emissivität	gering bei fest haftendem Zunder	Analyse des Zeitverlaufs des Temperaturkontrasts
Hoher Wärmewiderstand bei lose aufliegendem Zunder	Nachweisempfindlichkeit sinkt stark bei lose haftendem Zunder	Zunder wird durch negativen Kontrast als Störung erkannt
Induktionssignale, die in den Spänen erzeugt werden	Signale von Spänen können als Fehlersignale interpretiert werden/ Feine Partikel können den Riss elektrisch "kurzschließen"	Lose Späne abblasen/ Riss bleibt durch höhere Erwärmung der Partikel sichtbar
Erhöhung der Emissivität, zusätzlicher Wärmewiderstand	Dünne Schichten: s. Öl/Fett Dicke Lackschichten: Nachweisempfindlichkeit sinkt	Dicke Lackschichten werden durch negativen Kontrast als Störung erkannt
Zusätzlicher Wärmewiderstand	gering, wegen geringer Schichtdicke	nicht nötig
Erhöhung der Emissivität	Signal kann als Fehlersignal interpretiert werden	Analyse des Zeitverlaufs des Temperaturkontrasts
Signale von den Kanten	Signal der Gratbahn kann als Fehlersignal interpretiert werden	Verfeinerte Signalanalyse in der Region der Gratbahn

# Induktiv angeregte Thermografie für die Oberflächenrissprüfung

Bereich auf Gabel	B	C	D	E	F	Summe
Anzahl entdeckter Fehler mit Thermographie (davon bestätigt durch Metallographie)	2 (2)	0 (0)	1 (1)	7 (7)	1 (1)	11 (11)
Anzahl entdeckter Fehler mit MT (davon bestätigt mit Metallographie)	3 (2)	1 (0)	6 (1)	21 (7)	7 (1)	38 (11)



⇒ **Sehr hohe Prüfzuverlässigkeit**

- **Keine Scheinanzeigen**
- **Geringe Falschalarmrate**

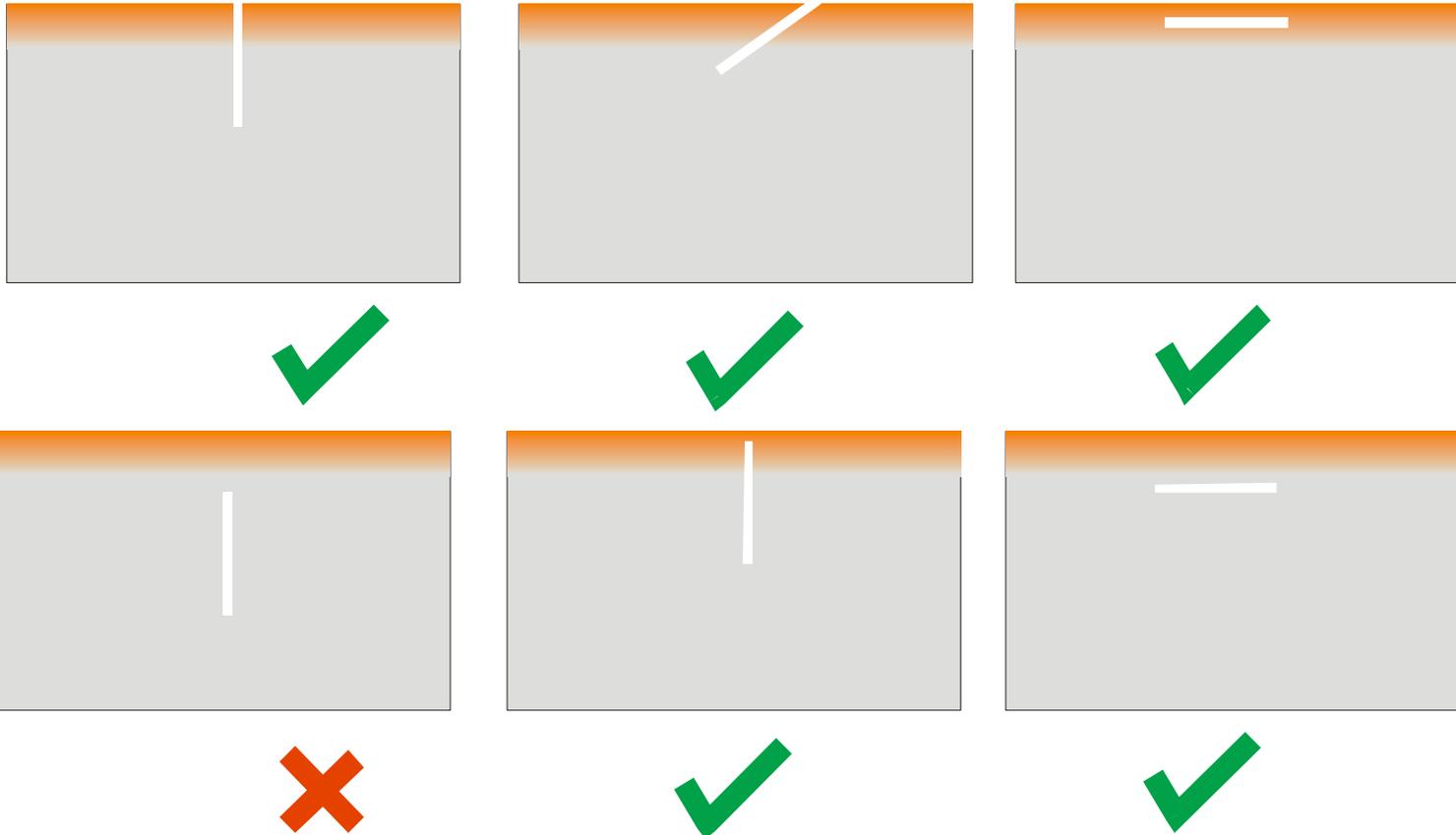
## Ergebnisse der Validierung

Nachweisempfindlichkeit (mit Standard-Induktionssystem 50 kHz ... 300 kHz)

• senkrechte Oberflächen-Risse				
Werkstoff	Risstiefe [mm]		Risslänge [mm]	S/N [dB]
S235			$L \geq 7,5$	> 10
	$T > 0,25$		$2 \leq L < 7,5$	> 10
X5CrNi18-10			$L \geq 5$	6
	$T \geq 0,5$		$2 \leq L < 5$	6
• schräg einlaufende Oberflächen-Risse (Tiefe T senkrecht zur Oberfläche)				
Werkstoff	Risstiefe [mm]	Risslänge [mm]	Risseinlaufwinkel $\alpha$ [°]	S/N [dB]
S235		$L \geq 7,5$	$20^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	> 10
	$T > 0,15$	$2 \leq L < 7,5$	$20^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	> 10
X5CrNi18-10		$L \geq 5$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	6
	$T \geq 0,35$	$2 \leq L < 5$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	6
• verdeckte, senkrechte Risse				
Werkstoff	Überdeckung: z		Risslänge [mm]	S/N [dB]
S235			$L \geq 7,5$ mm	6
X5CrNi18-10			$L \geq 7,5$ mm	6

# Nachweismöglichkeiten für unterschiedliche Fehlstellen

orange: Skintiefe



## Beispiel 3

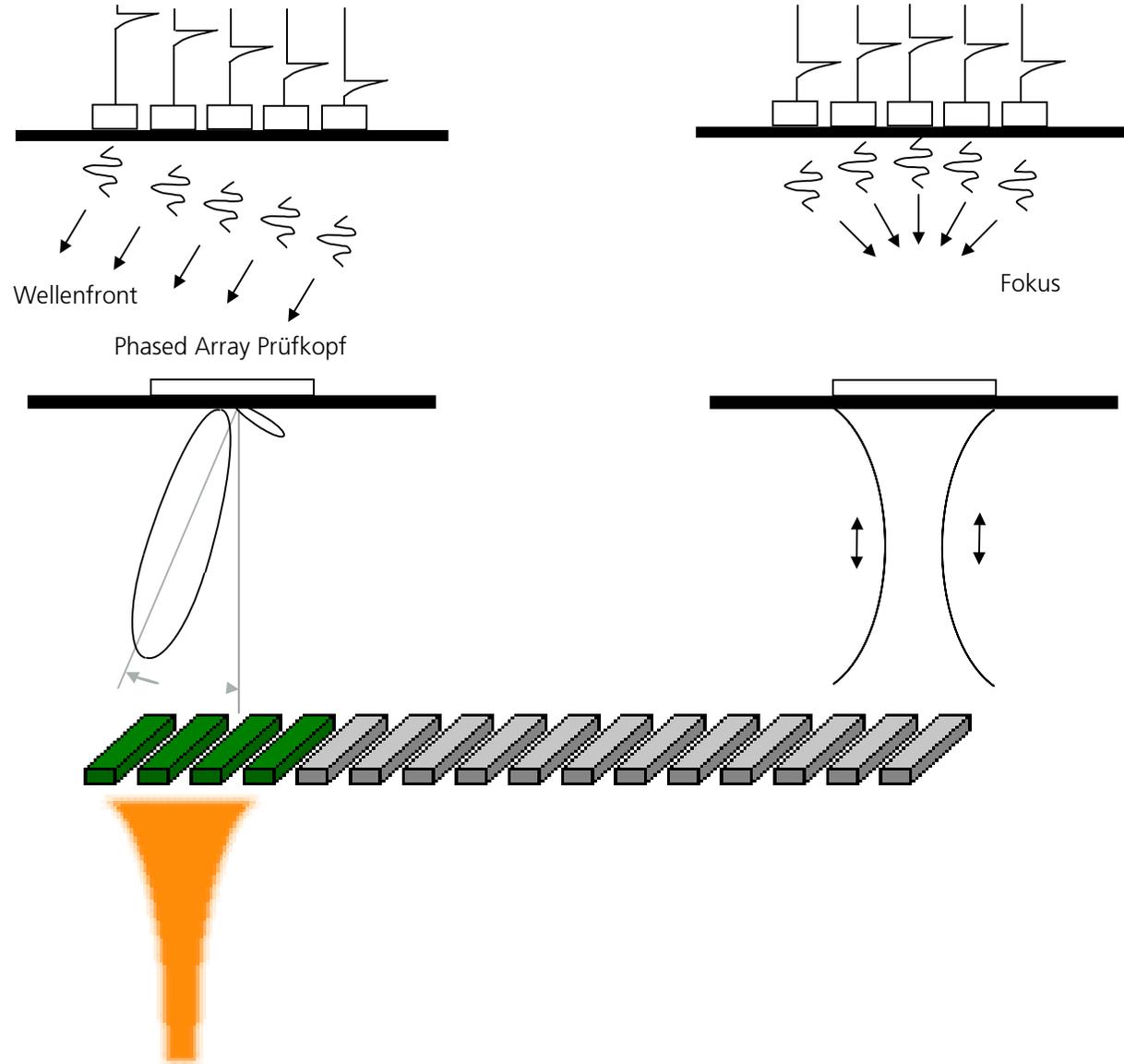
# Ultraschall-Fehlerprüfung mit elektronisch scannenden Phased Array Verfahren

# Phased Array - Prinzip

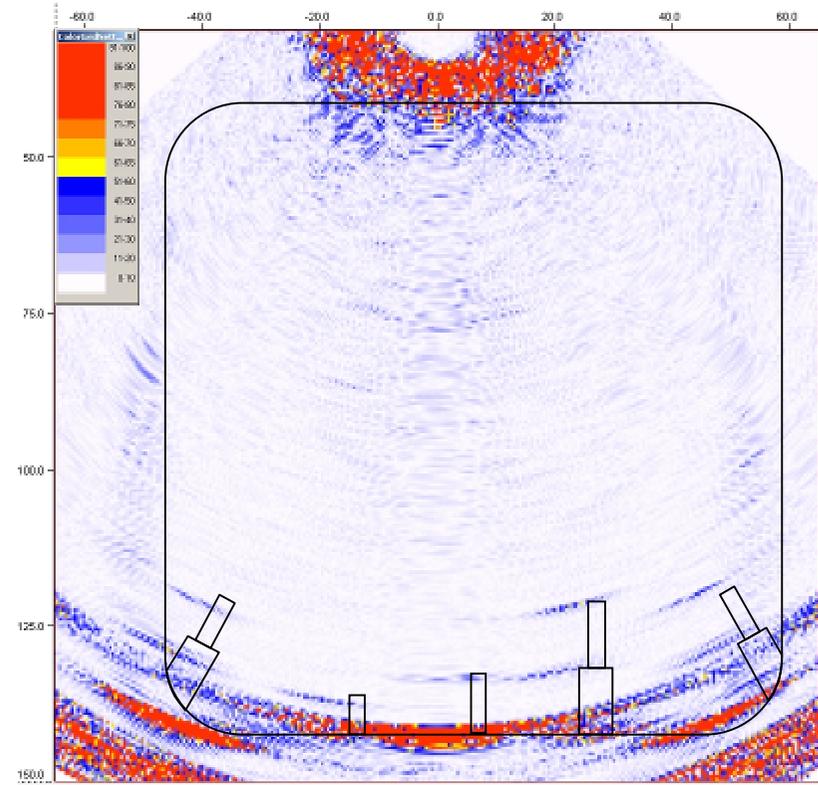
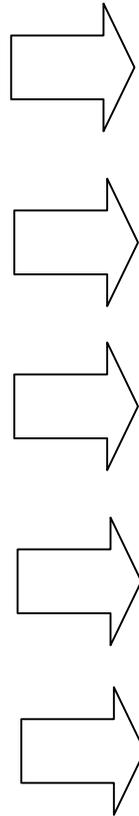
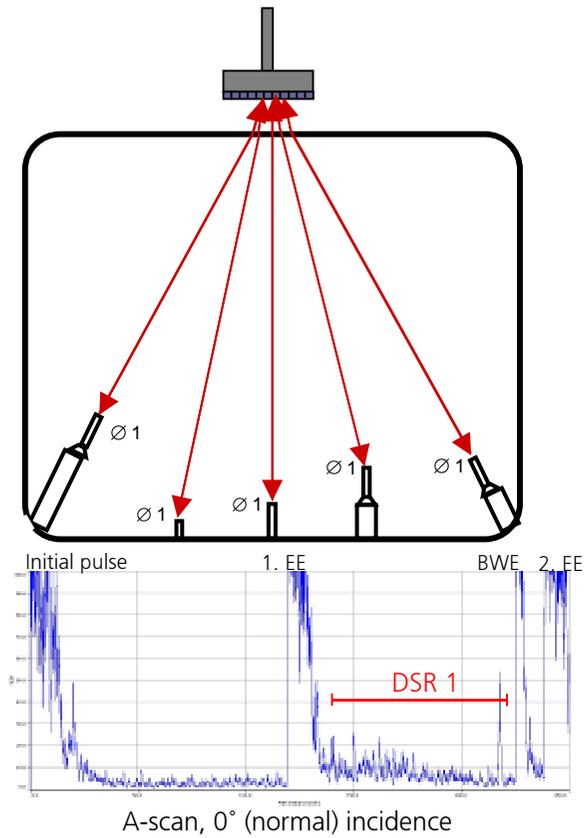
Schwenken und Fokussieren des Schallbündels

durch gezielte Schallfeldmodellierung mit Gruppenstrahler-Prüfköpfen

Elektronisches Scannen

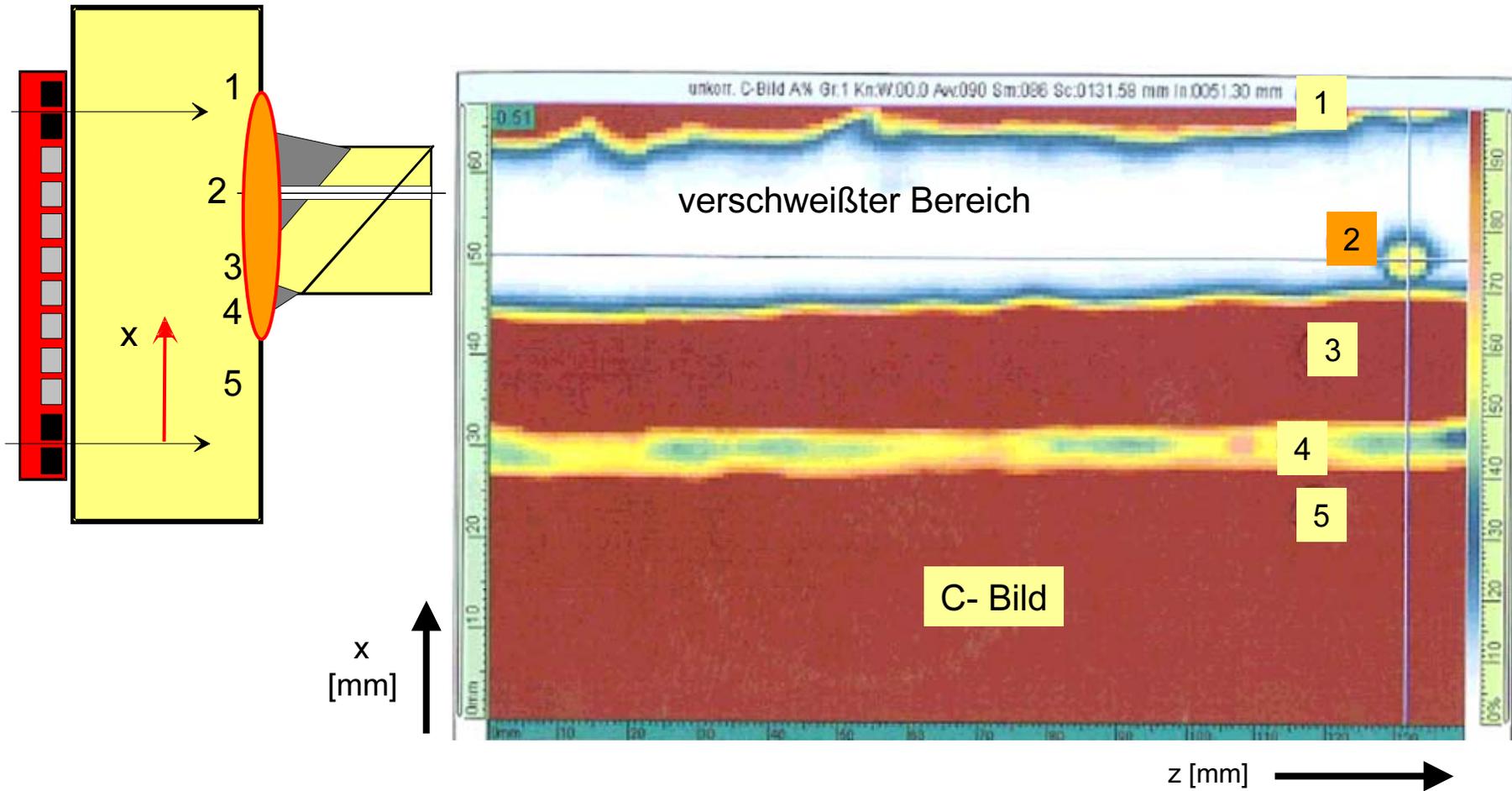


# Phased Array – Schnelle Bildgebung



Testkörper mit Flachbodenbohrungen

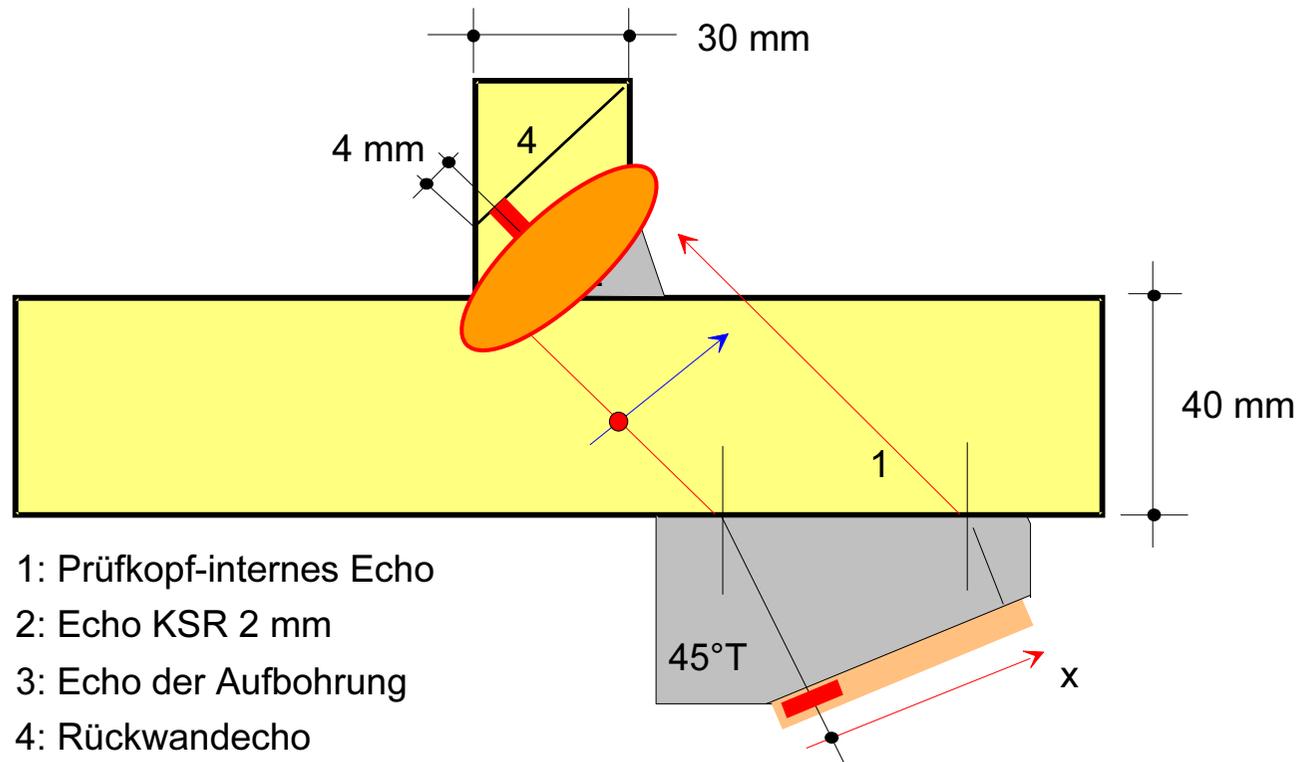
# Kehlnahtprüfung mit Linear-Array an Wasserbau-Konstruktionen



**Qualifizierung akzeptiert durch Wasserbauamt**

# Kehlnahtprüfung mit Linear-Array an Wasserbau-Konstruktionen

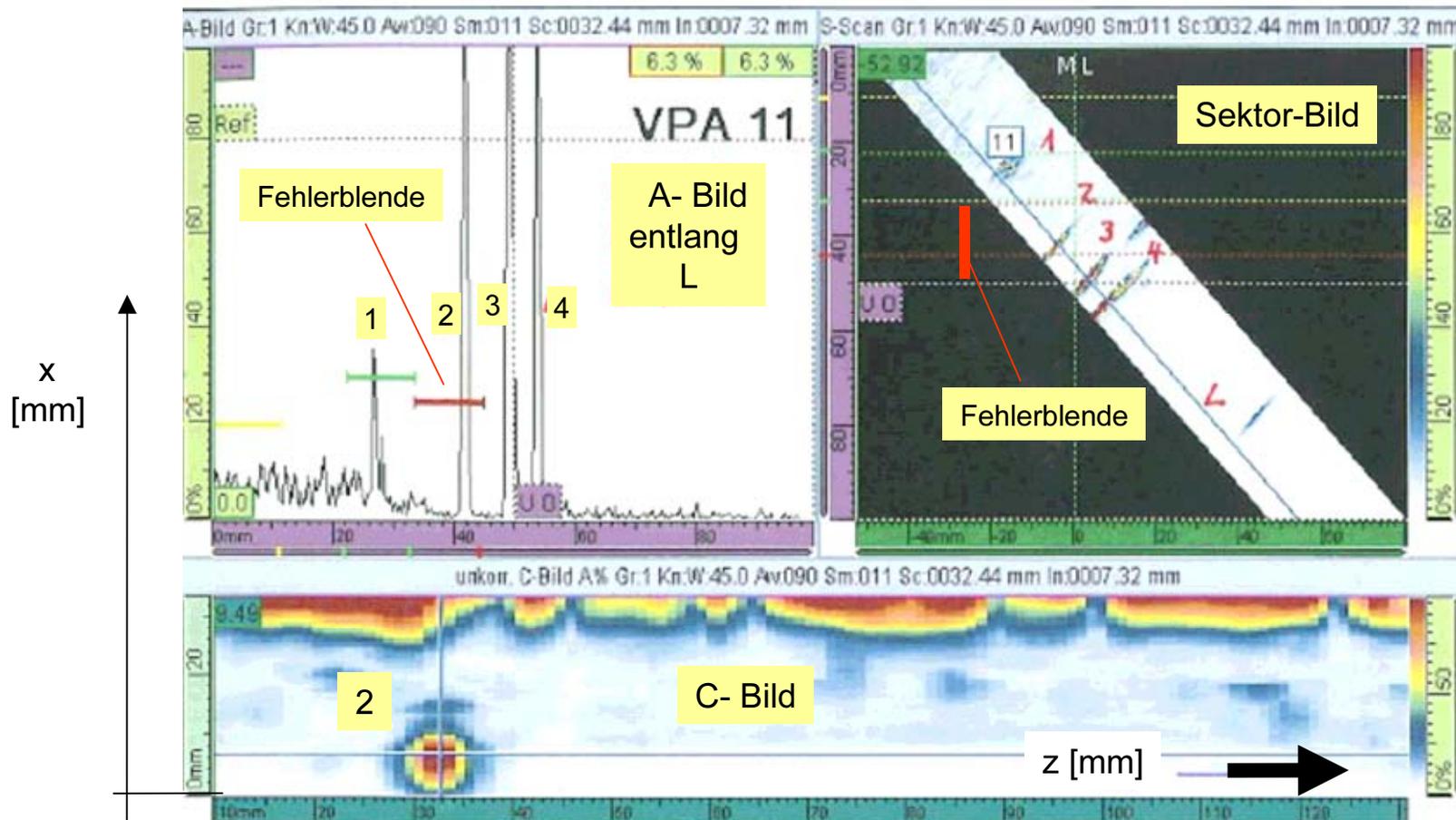
Testkörper für Schrägeinschallung



**Qualifizierung akzeptiert durch Wasserbauamt**

# Kehlnahtprüfung mit Linear-Array an Wasserbau-Konstruktionen

Prüfung 45° SN- Flanke



Qualifizierung akzeptiert durch Wasserbauamt

# Applikation: Automatische Prüfung von Schweißnähten für hochbelastete Schweißnähte an Hacksler-Trommeln

Häcksler-Trommel: bis zu **56 Messer**

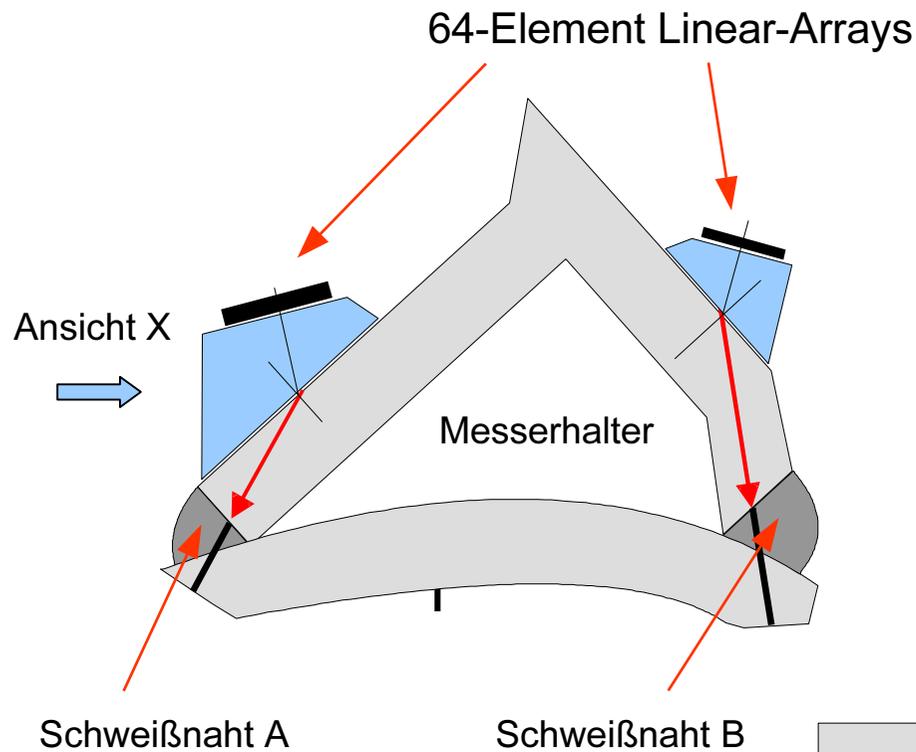
**Trommelgröße:** 625 ... 745 mm L x 470 mm □

**Drehgeschwindigkeit:** 1200/min

Fördermenge: ca. 250 t / h (max.)

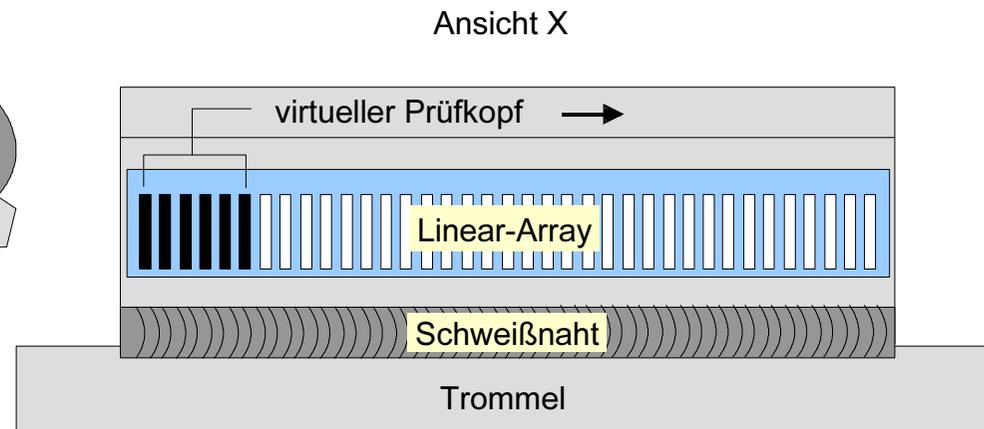


# Prüfkonzert mit Linear-Arrays

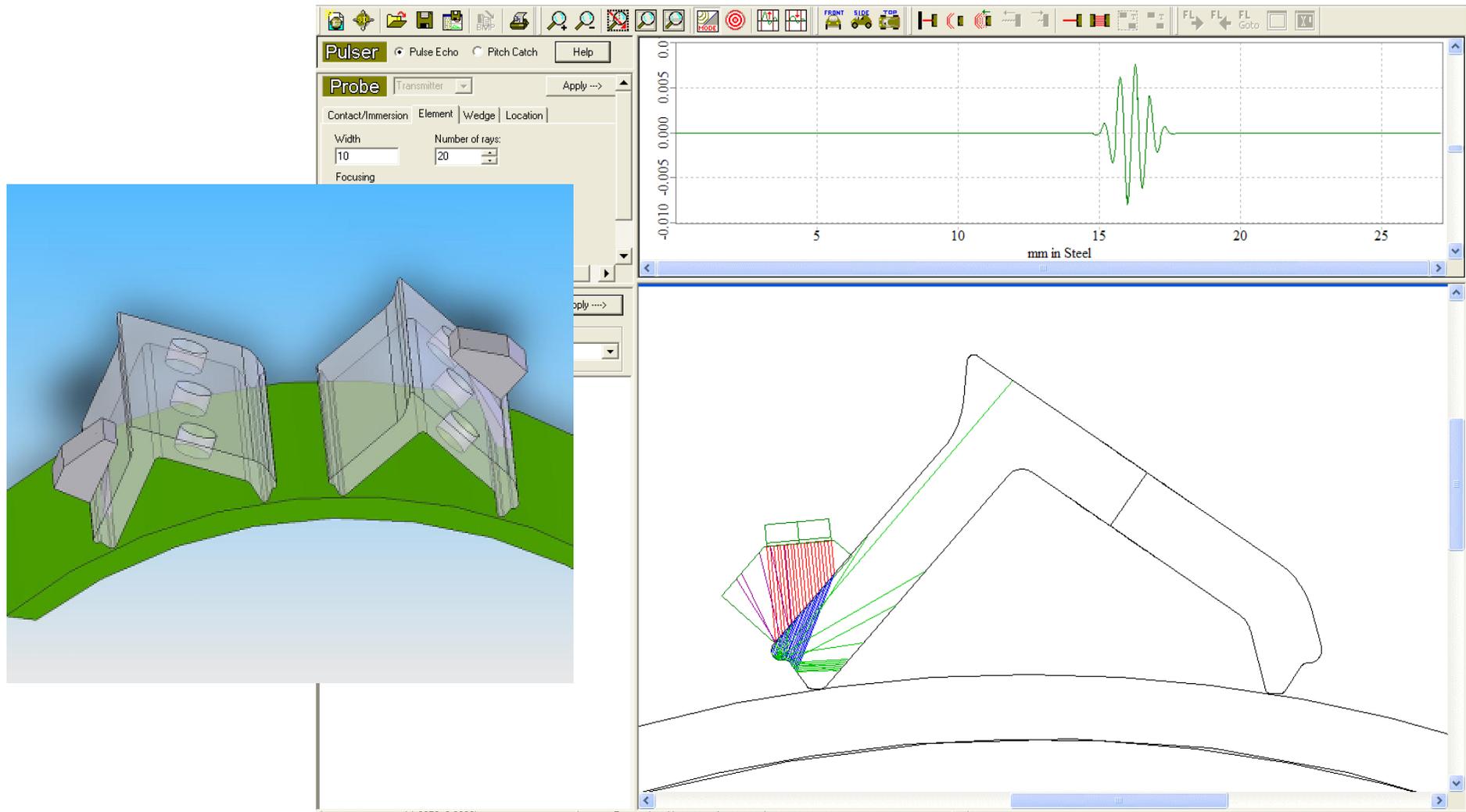


Prüfkopfparameter:

- Frequenz  $f = 5 \text{ MHz}$
- Anzahl der Elemente  $N = 64$
- Prüfkopfbreite  $10 \text{ mm}$
- Einschallwinkel für A =  $70^\circ$
- Einschallwinkel für B =  $60^\circ$



# Ultraschall-Prüfung : Prüfdesign durch Simulation und Raytracing



Ultraschall-Prüfsystem:

**LinScanDuo**



**Toughbook mit  
maßgeschneiderter  
Prüfsoftware KIS**  
(Knife Inspection software)

**LinScan-  
Frontend Elektronik**

**Prüfkopf mit  
Doppel-Linear-Array**

# Maßgeschneiderter Prüfkopf -

2 x 64 Elemente mit  
robustem Hypertronics Stecker



# Doppeltes Linear Array



# Testkörper für Funktionskontrolle und Empfindlichkeits-Justierung

Funktionskontrolle  
(Einzelelementfunktion u. Verstärkung)



Empfindlichkeits-Justierung  
(Referenz Fehler)



## Schulung und Bedienerweisung



### Ergebnisse

- Höchste Qualität und Zuverlässigkeit
- Stabiler Schweißprozess
- Schnelle Prüfung (1/2 Tag → 30 min)



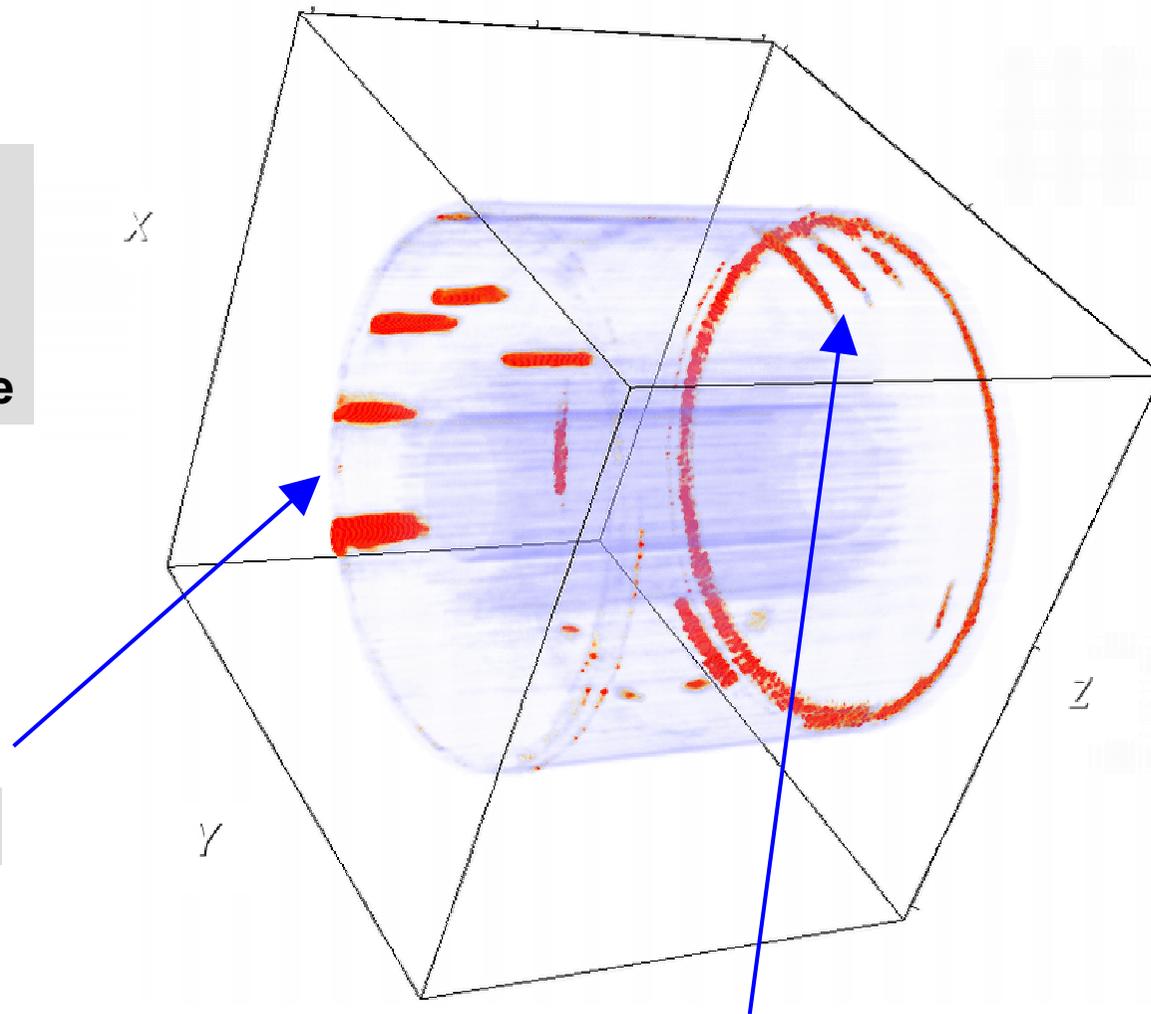
Qualifizierung akzeptiert durch TÜV

# Sampling Phased Array – Tomografische Rekonstruktion

Schienefahrzeuge:

Hohlwellenprüfung mit  
Echtzeit 3D-Tomografie

Längsfehler



Querfehler

Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Validierung u. Akkreditierung neuer ZfP-Technologien

Beispiel-Applikationen validierter ZfP-Systeme

**Zusammenfassung / Ausblick**

# Zusammenfassung

- **Zerstörungsfreie Prüfung:**  
Detektion von **Fehlern &**  
Bestimmung von **Werkstoff-Kennwerten / Eigenschaften**
- **Qualitätssicherung** kann **signifikant verbessert** werden durch maßgeschneiderte, **validierte ZfP-Systeme**
- **100% Prüfung**
- **Automatische Prüfung und Bewertung**
- ZfP = Ideales Werkzeug für Qualitätssicherung u. Prozessüberwachung  
→ **schnelle Umsetzung von Werkstoff- und Prozessinnovationen**
- **Vielfalt an unterschiedlichsten, komplementären ZfP-Verfahren**  
→ **Auswahl der besten Methode oder Verfahrenskombination (Hybride)**
- **Technologie-Qualifizierung für nicht-standardisierte Anwendungen:**  
Validierung, Prüfmittleignungsnachweise, Robuste ZfP-Systeme mit hoher Prüfzuverlässigkeit, Personal-Qualifizierung der Anwender

# Qualitätssicherung durch innovative und validierte ZfP-Systeme



**Flexible Akkreditierung  
DIN EN ISO / IEC 17025:2005**



DEUTSCHES  
AKKREDITIERUNGSSYSTEM  
PRÜFWESEN GMBH  
DAP-PL-3482.00



Danksagung:

Udo Netzelmann, Steffen Bessert  
Bernd Wolter, Iris Altpeter  
Wolfgang Kappes, Gerd Dobmann

**[bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de](mailto:bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de)**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



[bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de](mailto:bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de)